

VŠB - TECHNICKÁ UNIVERZITA OSTRAVA

Fakulta strojní

Katedra obrábění a montáže

Návrh technologie obrábění přesných děr
(Proposal Technology of Precise Holes Machining)

Vypracoval:

Petr Koutňák

Vedoucí bakalářské práce:

doc. Ing. Vladimír Vrba, CSc

Ostrava 2012

VŠB - Technická univerzita Ostrava
Fakulta strojní
Katedra obrábění a montáže

Zadání bakalářské práce

Student: **Petr Koutňák**
Studijní program: B2341 Strojírenství
Studijní obor: 2303R002 Strojírenská technologie
Téma: **Návrh technologie obrábění přesných děr**
Proposal Technology of Precise Holes Machining

Zásady pro vypracování:

1. Obecná charakteristika daného problému.
2. Obrábění přesných děr.
3. Parametry ovlivňující drsnost povrchu.
4. Ověření navržené technologie.
5. Diskuze experimentů.
6. Technicko-ekonomické zhodnocení.

Seznam doporučené odborné literatury:

- [1] NESLUŠAN, M.; TUREK, S.; BRYCHTA, J.; ČEP, R.; TABAČEK, M. *Experimentálne metódy v trieskovom obrábání*. Žilina : EDIS Žilina, 2007. 343 s. ISBN 978-80-8070-711-8.
- [2] BRYCHTA, J.; ČEP, R.; SADÍLEK, M.; PETŘKOVSKÁ, L.; NOVÁKOVÁ, J. *Nové směry v progresivním obrábění*. Ostrava : VŠB – TU Ostrava, 2007. Dostupné na <http://www.elearn.vsb.cz/archivcd/FS/NSPO>. ISBN 978-80-248-1505-3.
- [3] HAVRILA, M.; ZAJAC, J.; BRYCHTA, J.; JURKO, J. *Top trendy v obrábění, I. část – Obráběné materiály*. Žilina : Media/ST, s.r.o. Žilina, 2006. 205 s. ISBN 80-968954-2-7.
- [4] ZAJAC, J.; JURKO, J.; ČEP, R. *Top trendy v obrábění, II. část – Nástrojové materiály*. Žilina : Media/ST, s.r.o. Žilina, 2006. 193 s. ISBN 80-968954-2-7.
- [5] VASILKO, K.; HAVRILA, M.; MARCINCIN-NOVÁK, J.; MÁDL, J.; ZAJAC, J. *Top trendy v obrábění, III. část – Technologie obrábění*. Žilina : Media/ST, s.r.o. Žilina, 2006. 214 s. ISBN 80-968954-2-7.


Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.


Vedoucí bakalářské práce: **doc. Ing. Vladimír Vrba, CSc.**

Datum zadání: 16.12.2011

Datum odevzdání: 21.05.2012




doc. Ing. Robert Čep, Ph.D.
vedoucí katedry


prof. Ing. Radim Farana, CSc.
děkan fakulty

Místopřísežné prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem celou bakalářskou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Ostravě 21. 5. 2012


Petr Kouřimský

podpis student

Prohlašuji, že:

- jsem byl seznámen s tím, že na moji bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č.121/2000 Sb. – autorský zákon, zejména §35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a §60 – školní dílo.
- beru na vědomí, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen VŠB-TUO) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě bakalářskou práci užít (§35 odst. 3).
- souhlasím s tím, že bakalářská práce bude v elektronické podobě uložena v Ústřední knihovně VŠB – TUO k nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího bakalářské práce. Souhlasím s tím, že údaje o bakalářské práci, budou zveřejněny v informačním systému VŠB – TUO.
- bylo sjednáno, že s VŠB – TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu §12 odst. 4 autorského zákona.
- bylo sjednáno, že užít své dílo – bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB – TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB – TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).
- beru na vědomí, že odevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě 21. 5. 2012



Petr Koutňák

Adresa trvalého pobytu autora práce:

Petr Koutňák

Moravičany 242

789 82 MORAVIČANY

Anotace bakalářské práce

Koutňák, P. *Návrh technologie obrábění přesných děr*. Ostrava: VŠB – Technická univerzita Ostrava, Fakulta strojní, Katedra obrábění a montáže, 2012, 57 s, Vedoucí práce: doc. Ing. Vladimír VRBA, CSc.

Bakalářská práce se zabývá návrhem technologie na výrobu přesných děr. V úvodu práce jsou obecně popsány parametry, které ovlivňují drsnost obráběného povrchu a řezné materiály. Druhá část bakalářské práce je zaměřena na návrh a výsledky experimentů, které vedou k požadovaným výsledkům. Závěr práce zhodnocuje ekonomické i technologické výsledky s návrhem aplikace do výroby.

Anotation of bachelor thesis

KOUTŇÁK,P. *Proposal Technology of Precise Holes Machining. Bachelor. Thesis*. Ostrava: Department of machining and assembly, Faculty of Mechanical Engineering VŠB – Technical University of Ostrava, 2009, Thesis head: doc. Ing. Vladimír Vrba, CSc.

The Bachelor's thesis deals with a proposition of technology of precise holes production. In the introduction, the parameters, which influence roughness of the machined surface, and cutting materials are described in a general way. The second part of the thesis focuses on the design and results of the experiments, which lead to the required outcome. The conclusion evaluates economical and technological results with the proposition of application into production.

Obsah

Seznam použitých značek, veličin a jednotek	8
1. ÚVOD	9
2. OBECNÁ CHARAKTERISTIKA DANÉHO PROBLÉMU	10
1.1 Charakteristika firmy	10
3. OBRÁBĚNÍ PŘESNÝCH DĚR	12
3.1 Obrábění přesných děr – rozdělení	12
3.2 podstata soustružení	15
4. PARAMETRY OVLIVŇUJÍCÍ DRSNOST POVRCHU	16
4.1. Upínání nástrojů	16
4.2 Vibrace při soustružení	17
4.3 Vliv řezných sil	18
4.4. Odvod třísky	20
4.5. Teplo a teploty při obrábění	21
4.6. Řezné prostředí	22
4.7. Opotřebenění nástroje	24
4.8. Vliv Řezných podmínek při soustružení	25
4.9. Dosahovaná přesnost soustružení	27
4.10. Vliv řezné nástroje	28
4.10.1. Materiály řezného nástroje – rozdělení	28
4.10.2. Nástrojové oceli (NO)	29
4.10.3. Rychlořezná ocel (RO)	29
4.10.4. Slinuté karbidy (SK):	30
4.10.6. Polykrystalický diamant (PD)	33
[4]	33
4.10.7. Polykrystalický Kubický nitrid Boru (PKBN)	33
5. OVEŘENÍ NAVRŽENÉ TECHNOLOGIE	35
5.1. Výroba díry litinového setrvačníku	35
5.1.2. Původní technologie obrábění	37
5.1.3. Řezné materiály	38
5.1.4. Řezné podmínky	38
5.1.5. Původní dosahované výsledky	39
5.2. Návrh technologie	40
5.2.1 Výběr řezného materiálu	40

6. DISKUZE EXPERIMETU	43
6.1 Test a výsledek řezného materiálu WNMG 080412E-R	43
6.2 Test a výsledek řezného materiálu CCGT 09T304ER-SI; 8016	44
6.3. Test a výsledek řezného materiálu CCMT 09T308E-UM 8030.....	45
6.4. Test a výsledek řezného materiálu CCGT 09T308 MN – HC6310	46
7. TECHNICKOEKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ	48
7.1. Technické zhodnocení	48
7.1.1 Vyhodnocení experimentů	48
7.2 Ekonomické zhodnocení.....	50
7.2.1 obecné informace	50
7.2.2. Výpočet hospodárnosti pro zkoušené nástroje.....	50
ZÁVĚR :.....	54
POUŽITÉ ZDROJE.....	56
SEZNAM PŘÍLOH	57

Seznam použitých značek, veličin a jednotek

Značení	Význam	Jednotka
n	otáčky vřetena	$[\text{min}^{-1}]$
v_c	řezná rychlost	$[\text{m} \cdot \text{min}^{-1}]$
a_p	hloubka řezu	$[\text{mm}]$
v_f	posuv	$[\text{mm} \cdot \text{min}^{-1}]$
R_a	drsnost povrchu	$[\mu\text{m}]$
F_c	tangenciální složka řezné síly	$[\text{N}]$
F_p	radiální složka řezné síly	$[\text{N}]$
V_t	objem volně ložených třísek	
V_m	objem odebraného materiálu	
HRC	zkouška tvrdost podle Rocwella	
IT	stupeň přesnosti	
$^{\circ}\text{C}$	jednotka stupeň Celsia	
CNC	Computer numerical control	
RO	rychlořezná ocel	
SK	slinutý karbid	
PVD	fyzikální napařování	
CVD	chemické napařování z plynné fáze	
PCVD	plazmatická CVD metoda	
VBD	vyměnitelná břitová destička	
PD	polykrystalický diamant	
PKNB	polykrystalický nitrid bóru	
WC	karbid wolframu	
TiC	karbid titanu	
TiN	nitrid titanu	

1. ÚVOD

Počátek obrábění se datuje až do starověkého Egypta, kde první používaný soustruh měl svislou osu a byl poháněn lukem. Velký zvrat ve strojírenském průmyslu přicházel v 18. a 19. století, ale k největšímu vývoji došlo ve 30 letech 20. století, kdy byli vyvinuty první slinuté karbidy a dosáhlo se extrémního zrychlení. S trochou nadsázky, lze říci, že díky strojírenskému průmyslu a jeho skokovému zrychlení, je dnešní svět tam kde je. Na moderní letadla, auta, mrakodrapy, elektroniku ale například i léky má velký vliv právě moderní strojírenský průmysl. V dnešní době se klade zejména velký důraz na kvalitu a zároveň kvantitu obrobených součástí. Aby firmy mohli velkému konkurenčnímu tlaku kvalitně čelit, je potřeba se zabývat stále vývojem a správnou technologií pro dané operace.

Výroba přesných děr, jenž se zabývá byla ještě před 30 lety zaměřena hlavně na broušení a další dokončovací operace jako jsou např. vystružování a válečkování. Strojírenský průmysl a s ním vývoj stále nových a kvalitnějších rezných materiálů dosáhl toho, že vnitřním soustružením jsme schopni vyrobit rozměrově kvalitní obrobek s kvalitně obrobeným povrchem.

Bakalářská práce je zaměřena na výrobu přesných děr, přesněji na výrobu průchozí díry litinového setrvačnicku, který je obráběn na CNC soustruhu. Experimenty byly provedeny ve firmě Závody lehkých konstrukcí Loštice.

Cílem této práce je navržení a dosažení správné drsnosti obrobeného povrchu díry. Díra má předepsanou drsnost $1,6 \mu\text{m}$. Tuto drsnost se firmě nedaří při udržení stávajících podmínek dosáhnout.

2. OBECNÁ CHARAKTERISTIKA DANÉHO PROBLÉMU

Ve firmě Závody lehkých konstrukcí Loštice s.r.o. se budu zabývat obráběním přesných děr, konkrétně obrobením díry litinového setrvačnicku. Problém, který firma Závody lehkých konstrukcí Loštice s.r.o. (ZLKL, s.r.o.) řeší je, že při soustružení díry o průměru 80 mm nemůže dosáhnout požadované drsnosti povrchu. Požadovaná drsnost povrchu je $R_a = 1,6 \mu\text{m}$. Tuto drsnost jsou schopni udržet po výměně řezné destičky a to pouze u 6 -8 kusů. Obvyklá výměna by měla být po 35 – 40 obrobených setrvačnicích.

Cílem mé bakalářské práce je návrh technologie vysoustružení díry s výsledkem co možno nejvyššího počtu obrobených součástí s požadovanou drsností $1,6 \mu\text{m}$.

1.1 Charakteristika firmy

Firma pod názvem Závody lehkých konstrukcí Loštice (ZLKL, s.r.o.) byla založena v roce 1993 jako malá firma s několika málo frézek a soustruhů. V roce 1994 přišel velký zvrat, když se podařilo sjednat kontrakt na dodávání zadních sedáků pro vozy škody felicia. Firma si dále vedla velmi dobře a i v době hospodářské krize se její počet zaměstnanců jako ve velmi málo firmách zvyšoval. V současné době má cca 200 zaměstnanců a roční obrat kolem 330 milionů korun. K dispozici má asi 6000 m^2 výrobních ploch a kolem 2000 m^2 skladovacích ploch. [13]

Firma je technologicky zaměřena především na kovoobrábění, lisování dílů z plechů, rovnání a dělení drátů, svařování v ochranné atmosféře, svařování na robotizovaných pracovištích a kovoobrábění na číslicově řízených strojích. ZLKL, s.r.o. se stala za bezmála 20 let působnosti na trhu uznávanou dodavatelskou společností pro tuzemské i zahraniční zákazníky ve strojírenském a automobilovém průmyslu. [13]

Mezi tuzemské hlavní odběratele patří Karstit s.r.o. Jaroměř – výroba dílů pro travní sekačky a vozy škoda Octavia. M. L. S. Olomouc – lisování a obrábění kovových dílců do alternátoru, svařování koster alternátoru. Siemens Elektromotory – obrábění dílů pro elektromotory. Siemens nízkonapěťová technika – lisování. Senior Automotive – lisované díly do automobilového průmyslu. Zahraničními odběrateli jsou firmy Iron – kovoobrábění. Marelli Motori – lisování a svařování koster alternátoru. A. T. X. France – lisované díly pro světelnou techniku. Gravograph – hliníkové obráběné díly. [13]



Obr. 2.1 Firma ZLKL, s.r.o.



Obr. 2.2. Firma ZLKL, s.r.o.

3. OBRÁBĚNÍ PŘESNÝCH DĚR

3.1 Obrábění přesných děr – rozdělení

Obrábění přesných děr je obecně složitější než obrábění vnější. Obrábění děr je možno provádět na mnoha strojích a několika různými nástroji. [1]

Rozdělení dle pracovních operací:

1. Vrtání
2. Vyvrtávání
3. Vystružování
4. Protahování, protlačování
5. Válečkování
6. Broušení
7. Soustružení

1. Vrtání

Dosahovaná přesnost a jakost obrobené součásti závisí na druhu použitého nástroje a na materiálu řezné destičky. [2]

Tab. 3.1. Dosahovaná přesnost při vrtání [2]

Nástroj	Přesnost rozměrů IT	Drsnost obrobeného povrchu R_a (μm)
Šroubovitý vrták	11 až 13	6,3 až 25
Šroubovitý vrták s vodícím pouzdem	10	6,3 až 25
Kopínatý vrták	10	6,3 až 25
Dělový vrták	8	1,6 až 6,3
Vrták s vyměnitelnými břitovými destičkami	8 až 10	3,2 až 12,5

2. Vytváření

Parametry obrábění ovlivňuje celá řada kritérií, jako je tuhost vytvářecí tyče, geometrie břitu vytvářecího nástroje, řezné podmínky atd. [2]

Tab. 3.2 Dosahovaná přesnost při vytváření [2]

Operace	Přesnost rozměrů IT	Jakost obrobeneho povrchu R_a (μm)
Hrubování	11 až 14	6,6 až 25
Načisto	9 až 11	1,6 až 6,3
Jemné vytváření	5 až 8	0,2 až 1,6

3. Vystružování

Tab. 3.3 Dosahovaná přesnost při vystružování [2]

Operace	Přesnost IT	Drsnost obrobeneho povrchu R_a (μm)
Vystružování ruční	10 až 12	3,2 až 12,5
Vystružování strojní	6 až 8	0,4 až 1,6
Vystružování s výstružníkem ze SK	5 až 6	0,15 až 0,2

4. Protahování

Dosahovaná přesnost při protahování je velmi dobrá a drsnost obrobeneho povrchu také velmi dobrá. Kvalita obrobeneho povrchu závisí hlavně na řezném prostředí. [2]

Tab. 3.4 Dosahovaná přesnost při Protahování [2]

Operace	Přesnost rozměrů IT	Jakost obrobeného povrchu R_a (μm)
Běžné protahování	7 až 9	0,8 až 6,3
Protahování načisto	6 až 9	0,2 až 0,8
Protahování nástrojem s kalibrovacími zuby	5 až 8	0,2 až 1,6

5. Válečkování

Používá se pouze jako dokončovací operace, kde se kladou velké požadavky na přesnost a kvalitu obrobené plochy. [2]

Tab. 3.5 Dosahovaná přesnost při Válečkování [2]

Operace	Přesnost rozměrů IT	Jakost obrobeného povrchu R_a (μm)
Válečkování	6 až 8	1,6 až 0,1 um

6. Broušení

Parametry, které jsou uvedeny v tabulce č.3.6 jsou závislé především na tuhosti a přesnosti brusky, na vlastnostech brousícího kotouče a řezných podmínkách. [2]

Tab. 3.6 Dosahovaná přesnost při broušení [2]

Tvar broušené plochy	Způsob broušení	Přesnost IT rozměrů	Jakost obrobeného povrchu R_a (μm)
Vnitřní válcování	Hrubování	9 až 11	1,6 až 3,2
	Načisto	5 až 7	0,4 až 1,6
	Jemné broušení	3 až 6	0,025 až 0,4

7. Soustružení Kapitola 3.2

3.2 podstata soustružení

Základní princip soustružení děr je stejný jako při klasickém obrábění. Hlavním pohybem je zpravidla rotační pohyb obrobku, kde rychlost představuje i řeznou rychlost (V_c). Vedlejší pohyb při soustružení koná nástroj. „Řezný pohyb se při soustružení válcové plochy realizuje po šroubovici při soustružení čelní plochy po Archimédově spirále a při soustružení rotační plochy obecného tvaru po obecné prostorové křivce“ [1]. Při soustružení je kromě hlavního a vedlejšího pohybu ještě přísuv. Tento pohyb udává námi požadovanou hloubku řezu. [2]

Při vnitřním soustružení musíme zohlednit celou řadu omezení, abychom mohli dosáhnout řezné rychlosti ve spojení s kvalitní přesností rozměrů, jakostí obráběného povrchu a trvanlivostí bříty. [1]

„Soustružení děr, se provádí buď na předem před obrobených nebo na již existujících dírách odlitcích, výkvcích nebo výliscích“ [1]. Soustružení děr se doporučuje v případě, že se vyžadují úzké tolerance rozměrů a kvalitní drsnost povrchu. [1]

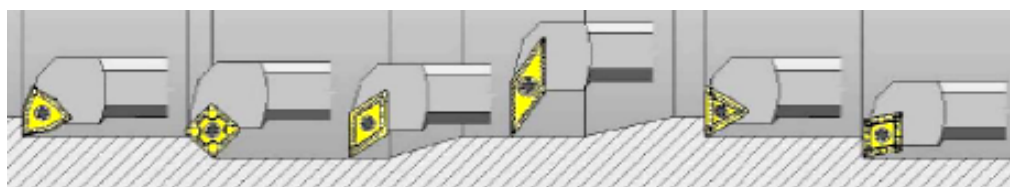
Základní charakteristické znaky při vnějším soustružení se vztahují také na soustružení děr. Při vnějším soustružení zpravidla nemá délka obrobku žádný vliv na vyložení nástroje a velikost držáku můžeme zvolit tak, aby držák stabilně odolával silám a namáháním, které při obrábění vznikají. U vnitřního soustružení je tomu jinak; v tomto případě je velikost a tvar nástroje omezena tvarem obráběné součásti. [1]

Základní rozdělení vnitřních nožů: 1. Vnitřní ubírací nůž

2. Vnitřní rohový nůž

3. Vnitřní zapichovací nůž

4. Vnitřní nůž závitový



Obr. 3.1. Vnitřní soustružnické nože [3]

4. PARAMETRY OVLIVŇUJÍCÍ DRSNOST POVRCHU

Při obrábění vzniká na povrchu nerovnost, která má velký vliv na funkci těchto ploch a dnes patří mezi základní požadovaný parametr při obrábění. Drsnost povrchu charakterizuje nejmenší rozteč nerovností. [3]

4.1. Upínání nástrojů

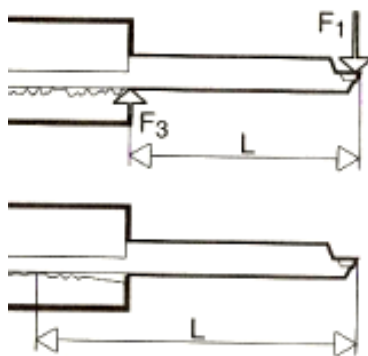
Pravidlo, které platí pro všechny druhy obrábění, je udržovat vyložení nástroje pokud možno co nejmenší, abychom dosáhli maximální stability obrábění a také zabezpečení přesnosti výroby. Při soustružení děr je vyložení nástroje dáno délkou obráběné díry. Stabilita obrábění je také dána průměrem nástroje, tedy čím větší průměr nástroje, tím vyšší je stabilita obrábění. [1]

Tohle pravidlo je omezeno průměrem obráběné díry, protože právě průměr díry ovlivňuje, kolik místa nástroj v obrobku má. [1]

Soustružnické nože můžeme upínat do různých druhů upínek nebo otočných nožových hlav, do nichž je možné upnout až čtyři nože současně. [2] U počítačově číslicově řízených (CNC), poloautomatických, automatických soustruhů a obráběcích center se nože upínají do speciálních držáků, s možností výměny předseřazení nástroje na požadovaný rozměr obrobku mimo stroj, tak aby výměna nástrojů, ruční nebo automatická, proběhla co nejrychleji. [1]

V případě působení síly (F_1) na špičku bříty, okamžitě v přední části nástroje začne působit v opačném smyslu síla (F_3) viz. Obr. 4.1.

„Upnutí nástroje je přitom vystaveno zatížení, které může způsobit deformaci materiálu“. [1] Z tohoto důvodu je důležité, aby přesnost, jakost a tvrdost materiálu dosedacích ploch byla co nejkvalitnější. V případě nedodržení nějaké z těchto podmínek je možné, že se výchyly vlivem možné deformace zvětší. Minimální doporučená hodnota pro upínání plochy nástroje platí 0,8 μm a tvrdost 45 HRC. [1]



Obr. 4.1. Působící síly při obrábění [1]

4.2 Vibrace při soustružení

Obráběcí stroj, nástroj a obrobek tvoří obráběcí soustavu s komplikovanými dynamickými charakteristikami. Chvění při obrábění má za následek zhoršení kvality obrobenej plochy, zvýšení opotřebení nástroje, vylamování částic břitů a nepřesnost obrobenej plochy. [5]

Vibrace se dělí na: 1. Vynucené

2. Samobuzené

1. Vynucené kmitání

a) Silové impulzy vznikající v obráběcím procesu

- nevyváženost – poloha těžiště obrobku není totožná se středem rotace.
- přímočarý vratný pohyb hmot
- špatně upnutý nástroj, obrobek

b) přerušovaný proces řezání

- změna tloušťky třísky

c) Stroj jako zdroj kmitání

- prohnuté nebo špatně uložené hřídele
- poškozené či opotřebené řemeny pohonu obráběcího stroje
- uvolněné díly na stroji, poškození stroje [1]

Všechny pohyblivé části přenáší nějakým způsobem energii. Stroj, na kterém pracujeme, může vést k vzniku kmitání. Část energie špatně pracujících částí stroje se vzájemným působením mění na teplo, ale v mnoha případech na působení negativních sil. Tomuto kmitání se dá předejít pravidelnou údržbou, výměnou opotřebených součástí, dotažením uvolněných šroubů.[5]

d) Síly vyvolávající těžké stroje v blízkosti okolí obráběcího stroje (kovací stroje) [1]

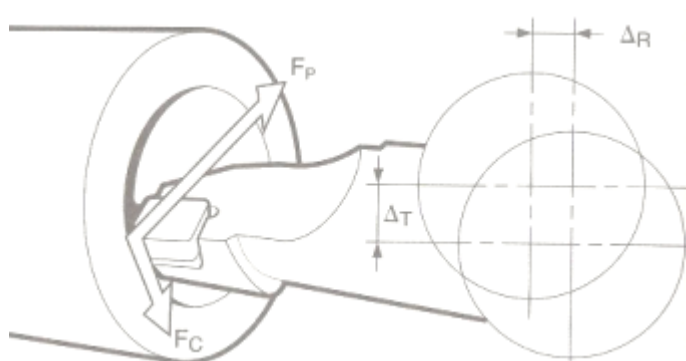
2. Samobuzené kmitání

Samobuzené vibrace jsou následkem souvisícím s řezným procesem mezi nástrojem a obrobkem a jeho nestabilitou. Častou příčinou je uvolňování nárůstků, nepravidelný přídavek na obráběné ploše, tvrdší složka ve struktuře obrobku. Charakteristickým projevem tohoto kmitání je hluk, který se projevuje při obrábění, vlnitost obrobené plochy a špatná drsnost obrobené plochy.[5]

4.3 Vliv řezných sil

Při vnitřním soustružení se snaží tangenciální složka řezné síly (F_c) a radiální složka řezné síly (F_p) vychýlit nástroj z řezu. Tangenciální složka řezné síly (F_c) tlačí nástroj a snaží se jej dostat směrem dolů pod osu rotace. Vychýlení soustružnického nože v tangenciálním směru způsobuje zmenšení uhlu čela (γ). „*Tím dochází k větším řezným silám, které pak kladou větší požadavky na vyšší stabilitu nástroje za účelem zabránění vzniku vibrací.*“ [1]

Proto je při soustružení děr s malými průměry děr velmi důležité, aby byla vyměnitelná břitová destička opatřena požadovaným uhlem hřbetu, aby mezi stěnou díry a nástrojem nedocházelo ke styku.[1]



Obr. 4.2. Vliv řezných sil [3]

Vedle tangenciální složky zde máme ještě radiální vychýlení. To má za následek zmenšení hloubky řezu (a_p). Tímto vychýlením je ovlivněno zmenšení tloušťky třísky a hlavně přesnost díry. Síla potřebná pro utváření třísky je rozložena na malou plochu čela (), tak dochází ke zvýšení měrné řezné síly. Z těchto důvodů vznikají vibrace, které [2]

jsou přenášeny od špičky bříty až do upnutí nástroje. Jak velké tyto vibrace mohou být ať už při zesílení či útlumu závisí na stabilitě nástroje a na přesnosti jeho upnutí. [1]

Na výrobní proces má rozhodující vliv geometrie bříty. „*Pozitivní vyměnitelná břitová destička má pozitivní úhel čela (gama), je charakterizována úhlem bříty (beta) a úhlem hřbetu (alfa), jejichž součet je menší než 90 stupňů*“. [1] Pozitivním úhlem čela se rozumí, že tangenciální složka řezné síly (F_c) je menší, pozitivní úhel čela jde ovšem na úkor úhlu hřbetu. V případě malého úhlu hřbetu hrozí nebezpečí, že mezi nástrojem a obrobkem vznikne tření a třecí síly vyvolají nežádoucí vibrace. Pokud je úhel čela velký a odpovídající úhel bříty menší, vzniká ostřejší břit, ale nástroj se rychleji poškodí vlivem většího a nestejnoseměrného opotřebení bříty. Doporučené stanovení opotřebení hřbetu by mělo být v rozmezí 0,1-0,3 mm při obrábění načisto a 0,3 – 1,0 při hrubování. [1]

Dalším způsobem jak zabránit vibracím, je výhodné zvolit velký úhel nastavení hlavního ostří. Tento úhel ovlivňuje také faktory jako jsou tloušťka třísky a směr odchodu třísky. Nevýhodou velkého úhlu nastavení hlavního ostří je, že je břit vystaven velkému nárůstu zatížení při vjezdu bříty do obráběného materiálu a jeho velkému poklesu při vyjetí ze záběru. Nejlepších výsledků se dosahuje při nastavení hlavního ostří na 75 – 90 stupňů. [1]

Velikost složek řezných sil je také dána poloměrem špičky vyměnitelné destičky. Čím je poloměr špičky větší, tím větší jsou i radiální a tangenciální složky řezných sil, které napomáhají vzniku vibrací. Pokud se jedná o radiální složku řezné síly, neplatí výše uvedený údaj v plném rozsahu. Pravidlem je, že poloměr špičky by měl být zvolen, tak aby byl menší než hloubka řezu. Tímto pravidlem dosáhneme omezení radiální složky na minimum, což znamená zamezení vibrací a zároveň využijeme všech výhod velkého poloměru špičky. [1]

Výhody velkého poloměru Špičky:

1. Dobrá jakost obrobeného povrchu
2. Stabilní břit
3. Stejně zatížení bříty v průběhu obrábění

Nepovlakované břitové destičky mají obvykle menší zaoblení ostří, než destičky opatřené povlakem. Nepovlakované břitové destičky by proto měli být používány při obrábění kde je nutné velké vyložení nástroje, abychom zabezpečili co nejmenší velikost složek řezných sil. [1]



Obr. 4.3. Rozdíl poloměrů špičky řezné destičky [1]

4.4. Odvod třísky

Podstatou všech obráběcích operací je odebírání materiálu. Oddělování třísky od materiálu je u soustružení děr důležitou součástí a vypovídá o průběhu procesu řezání. Správně utvořená tříska může dopomoci kvalitně obrobenému povrchu a zamezení zesilujících vibrací. [5].

Při soustružení děr bychom měli dbát na utváření třísky ve tvaru krátkých šroubovic. Krátké šroubovitě třísky se z místa řezu velice snadno odvádí a udržují zatížení břitu v přijatelných mezích. Pokud vznikají krátké třísky, tak při soustružení děr to není až takový problém. V případě, že chceme třísky delší, je třeba zvýšit příkon stroje, což ale může vést ke zvýšení vibrací soustružnického nože. Druhou možností je tvoření se dlouhých třísek, které mají špatné odvádění třísek s díry. [1]]

Utváření třísky je ovlivňováno celou řadou faktorů jako jsou :

- Geometrie břitu, utvařec třísky;
- Velikost poloměru špičky;
- Řezná rychlost;
- Posuv;
- Vibrace stroje a nástroje.

Velká řezná rychlost nebo pomalý posuv v mnoha případech vedou ke vzniku dlouhých třísek. V mnoho případech opotřeбенý žlábek na čele může působit jako utvařec třísky. Hlavním faktorem pro utváření třísky je úhel nastavení hlavního ostří, který ovlivňuje směr

odchodu třísky, a zda bude mít požadovaný tvar šroubovice. *“Parametry, které přicházejí v úvahu při kontrole utváření a odchodu třísky, ovlivňují také směr a velikost složek řezných sil”*. [1] Z tohoto důvodu je velmi důležité správné zvolení druhu břitové destičky se správnou geometrií břitu pro utváření požadované třísky. Při soustružení děr je utváření a odvod třísek nedílnou součástí, nad kterou musí obsluha stroje udržovat kontrolu. Velkým problémem může nastat při soustružení hlubokých děr. Při soustružení děr jsou třísky pomocí odstředivé síly natlačeny na obráběnou plochu, kde se hromadí a poškozují nástroj, někdy dochází až k jeho vylomení. Z tohoto důvodu se pro soustružení děr doporučuje vždy přívod kapaliny vnitřkem nástroje. Tímto se nadále kapalina bude dostávat k místu řezu a bude účinnější vyplachování třísek z místa řezu. Jako Dalším zabezpečením pro bezproblémový odvod třísky je výpočet objemového součinitele. Takové požadavky se často zdůrazňují u automatizovaných strojů nebo právě při soustružení děr. [1]

$$W = \frac{V_t}{V_m}$$

V_t = objem volně ložených třísek

V_m = objem odebraného materiálu korespondující s V_t

[5]

4.5. Teplo a teploty při obrábění

Během obráběcího procesu se veškerá mechanická práce řezání transformuje v teplo. Velmi vysoké teploty jsou mnohdy příčinou špatné trvanlivosti břitu a omezují používání vyšších řezných rychlostí. Hlavním zdrojem tepla jsou oblasti v rovině stříhu při tvorbě třísky, v oblasti tření třísky po čele nástroje a v oblasti tření hřbetu po obrobené ploše.

Zásadní pro velikost odvodu tepla s třísky, obrobku, nástroje a do prostředí je vodivost materiálů nástroje a obrobku. Dalším rozhodujícím prvkem je řezná rychlost. V ideálním případě největší část vzniklého tepla bude odvedena třískou. Teplota třísky zatěžuje řezný nástroj jen v momentě kdy je s nástrojem v kontaktu. *„Nejvyšší teplo vzniká v rovině stříhu.”* [1]

S tohoto důvodu působí rozsah jakosti styku mezi nástrojem a třískou přímo na výkon. Malé mezní úhly roviny stříhu mohou, jako důsledek malého úhlu čela, zvýšit odvod tepla do obrobku. *„Podél zóny kluzu se mění menší množství energie na teplo”*. [1] Pomocí nově vyvinutých břitových destiček je možné proces obrábění nastavit tak, aby bylo teplo přiváděné do břitu co nejmenší. [1]

Teplu, které vzniká v oblasti hřbetu, kde se dráha nástroje a opracovaného obrobku rozděluje, by mělo být co nejnižší. Dostatečně velký úhel hřbetu společně se zamezením opotřebení hřbetu jsou velmi důležitými faktory. Pokud nebudeme tyto faktory brát v potaz, dojde k rychlému lomu bříty. [5]

Teplota řezání

Je závislá na velikosti řezných sil, kontaktu třísky a nástroje a třecích momentech obrobku a nástroje. Pokud obrábíme malými řeznými rychlostmi tak nejvyšší teplota je na špičce nástroje. V případě obrábění velkými řeznými rychlostmi je nevyšší teplota v malé vzdálenosti od ostří nástroje. Měření teploty řezání stykových ploch mezi nástrojem a obrobkem jde provádět různými typy termočlánků. [5]

Vliv řezných podmínek na teplotu řezání:

- „Se zvyšováním řezné rychlosti - klesá měrný odpor a s tím i deformační teplo a teplota materiálu v oblasti prvotních deformací, zvětšuje se práce tření na čele v souvislosti s větší rychlostí pohybu třísky po čele nástroje. Z uvedeného tedy vyplývá, že se zvyšování řezné rychlosti teplota stoupá.“
- Pokud zvýšíme posuv teplota rovněž stoupá, ale není tak výrazná jako při zvyšování řezné rychlosti.
- Hloubka řezu má ještě menší vliv na teplotu řezání než posuv, protože je v záběru větší část řezné hrany a tím je větší odvod tepla.
- Při zvětšování úhlu nastavení teplota řezání roste z důvodu malého zabrání řezné hrany a tím menšího odvodu tepla. Při zmenšení úhlu čela teplota řezání stoupá.

[5]

4.6. Řezné prostředí

Řezné prostředí má velký vliv na jakost a rozměrovou přesnost povrchu. Nejpoužívanějšími řeznými médii jsou kapaliny, plyny, mlhy.

Pro správné splnění řezného prostředí patří požadavky jako jsou:

- Chladicí účinek;
- Mazací účinek;
- Ochranný účinek;
- Čistící účinek;
- Provozní stálost.

Chladicí účinek – Chladicí účinek má za úkol odvod tepla vzniklého při řezném procesu z místa řezu. Chladicí účinek je závislý na smáčecí schopnosti, měrném teple, tepelné vodivosti, výparném teple a na rychlosti vypařování. Nejčastějším chladicím médiem je řezná kapalina. [5]

Mazací účinek – Mazací účinek tvoří na povrchu nepatrnou vrstvu, která brání čistému doteku kovových ploch, a tím snižuje tření mezi nástrojem a obrobkem. Mazání stykových ploch je důležitým faktorem pro zmenšení řezných sil, spotřeby energie a zkvalitnění jakosti povrchu. [5]

Ochranný účinek – Ochranný účinek má sloužit k nenapadání kovů korozí. Toto je velmi důležité pro ochranu stroje před korozí a agresi vůči gumovým těsněním, což je velmi důležité pro správnost chodu a přesnost stroje. Také by mělo chránit obrobky před konzervováním mezi jednotlivými operacemi. Jako vytvoření správného řezného prostředí jsou přidávány speciální přísady. [5]

Čistící účinek – Čistící účinek má na starost odvod třísek a jiných nežádoucích částí z místa řezu. Velký význam má zejména právě při vnitřním soustružení nebo vrtání hlubokých děr.[5]

Provozní stálost – Provozní stálostí se rozumí vytrvalost řezného média. Dlouhodobost je zajištěna zárukou, že se vlastnosti po dobu používání média nebudou měnit. Vliv špatného média má potom za příčin špatné mazací účinky a ztrátu ochranných schopností. Čím je médium složitěji vyrobeno, tím má i větší sklon k nestabilitě. [5]

Prívod řezné kapaliny do místa řezu: Způsob, jakým bude řezná kapalina přiváděna do místa řezu je velmi důležitou součástí vnitřního soustružení. Ovlivňuje zejména trvanlivost břitů nástroje a jakost obrobené plochy. [5]

Při soustružení Krátkých děr můžeme použít klasické chlazení. Tento způsob chlazení nevyžaduje žádnou speciální úpravu. Ve většině případech je základní součástí obráběcího stroje. [5]

Dalším způsobem, jak přivádět kapalinu do místa řezu u vnitřního soustružení, je vnitřní chlazení. Tento způsob chlazení je určen hlavně pro obrábění Dlouhých děr. Při soustružení,

vrtání dlouhých děr je přívod kapaliny dodán vnitřkem nástroje. Při soustružení slinutým karbidem dokáže tato metoda zvýšit efektivitu a řeznou rychlost až o 15% . [5]

4.7. Opotřebení nástroje

V průběhu obráběcího procesu dochází ke vzniku velkého množství tepla, které se vyvíjí na ploše čela a hřbetu nástroje. Tepelné zatížení v místě řezu a otěrné účinky třísky i obráběného materiálu zapříčiní při obrábění postupné opotřebování bříty nástroje až k jeho úplnému otupení, kdy nástroj ztrácí svoji schopnost přesného a kvalitního řezání. [5]

Nejčastějšími příčinami opotřebení bříty při soustružení jsou:

1. Nárůstek - je nejčastějším způsobem opotřebení nástroje. Odvod třísky po čele nástroje probíhá za velkých tlaků a vysokých teplot. Představuje studený návar materiálu obrobku na břit nástroje. V případě že se nárůstek odtrhne, dochází k podstatnému zhoršení jakosti obrobené plochy a k odtrhávání materiálu bříty. Možnými příčinami nárůstků jsou malá řezná rychlost a negativní geometrie bříty. Jako opatření zvolíme pozitivní geometrii bříty, podstatné zvýšení řezné rychlosti a častým opatřením bývá přívod většího množství chladicí kapaliny.[1]
2. Opotřebení hřbetu bříty nástroje - Je obvyklým typem opotřebení. Rychlé opotřebení hřbetu bříty vede ke špatné jakosti obrobené plochy a k rozměrové nepřesnosti. Důvodem tohoto opotřebení může být vysoká řezná rychlost. Jako opatření pro snížení náchylnosti k opotřebení hřbetu bříty se používá snížení řezné rychlosti, zvolený materiál nástroje s vyšší odolností proti opotřebení.[1]
3. Opotřebení ve tvaru žlábků na čele bříty - Je dalším nežádoucím, ale bohužel častým opotřebováním. Velké opotřebení v podobě žlábků zeslabuje břit. Výsledkem je špatná jakost obrobené plochy. Jako příčina se uvádí velké teploty na čele nástroje. Pro snížení náchylnosti je dobré používat řezný nástroj s povlakem oxidu, použití pozitivní geometrie bříty a snížení řezné rychlosti a také posuvu.[1]
4. Plastická deformace bříty - vzniká působením navzájem vysokých teplot a řezných tlaků na břit nástroje. Často vede ke špatnému odvodu třísky a špatné jakosti obrobené plochy. Tomuto opotřebování jde částečně zamezit zvolením

5. správného zaoblení ostří, volbou správné geometrie břitu a zvolením lepšího řezného materiálu s dobrou odolností proti trvalé deformaci.[1]
6. Opotřebení ve tvaru vrubu na hlavním hřbetu břitu - Vznikají v místě, kde probíhá kontakt břitu s bokem třísky. Pokud toto opotřebení vznikne dochází ke špatnému utváření třísky může vést až k lomu destičky.[1]
7. Vydrolování Ostří - Toto opotřebení je zapříčiněno oddělováním drobných částechů nástrojového materiálu z povrchu břitu. Přerušovaný řez je nejčastější příčinou tohoto opotřebení. Vylamování ostří má za následek špatně obrobený povrch a nadměrně opotřeбенý hřbet. Příčinami vydrolování ostří jsou příliš křehký materiál, velká pozitivní geometrie břitu a nárůstek. Mezi způsoby, jak zamezit vydrolování, patří materiál nástroje s velkou houževnatostí, pozitivní geometrie břitu, zvýšit řeznou rychlost, malý posuv a zvýšit stabilitu obrábění.
[1]

Mezi další možnosti opotřebení břitu patří trhliny vzniklé teplem, lom břitu nástroje a výlom způsobený nárazem třísky. Trvanlivost břitu je rozhodujícím způsobem jak udržovat kvalitní jakost obrobeného povrchu, rozměrovou přesnost obrobku a kontrolu odchodu třísky. „Trvanlivost břitu je jedním z nejdůležitějších faktorů pro určování úrovně produktivity dané operace obrábění a použitelnosti nástroje.“[1]

4.8. Vliv Řezných podmínek při soustružení

Základním principem správných řezných podmínek je stanovení řezné rychlosti v_c , posuvu f a hloubky řezu a_p .

Volba řezných podmínek je závislá na druhu obráběného materiálu, materiálu břitu řezného nástroje, chlazení, druhu stroje apod. a také na požadovaných vlastnostech obrobku jako je drsnost obrobeného povrchu a rozměrová přesnost. V dnešní době, má každý výrobce nástrojových materiálů sepsaný katalog řezných podmínek, kde lze pro požadovanou trvanlivost břitu nástroje, materiálu obrobku a materiálu břitu nástroje stanovit řezné podmínky.[2]

Prvním kritériem pro výpočet řezných podmínek je řezná rychlost v_c , která představuje obvodovou rychlost obrobku. [3]

Řezné rychlosti se obvykle pohybují $10\text{--}600\text{ mm}^{-1}$ a jsou závislé zejména na druhu obráběného materiálu, na způsobu obrábění a na druhu nástrojového materiálu. V níže uvedené tabulce jsou udávány orientační hodnoty řezné rychlosti při jednotlivých způsobech soustružení RO a SK.[3]

Tab. 4.1. Řezná rychlost dle použitého řezného materiálu. $(m * mm^{-1})$ [2]

Operace / řezný materiál	RO	SK
Při Hrubování	10 – 85	35 – 250
Při soustružení načisto	20 – 110	45 – 450
Při jemném soustružení	35 – 135	55 – 550

Vzorec pro výpočet řezné rychlosti

$$v_c = \frac{\pi * D * n}{1000} (m * min^{-1})$$

D – Průměr obráběné plochy (mm)

n – počet otáček obrobku (min^{-1})

[2]

Druhým kritériem je posuv, což je dráha, kterou urazí nástroj za jednu otáčku obrobku.

Rychlost posuvu je dána vztahem: [2]

$$v_f = s * n (mm * min^{-1})$$

Velikosti posuvu se volí dle způsobu a požadavků na rozměrovou a jakostní přesnost.

Obecně se uvádí :[3]

Tab. 4.2. Doporučený posuv při vnitřním soustružení $(mm * min^{-1})$ [2]

hrubování	0,3 až 2 mm
obrábění na čisto	0,06 až 0,3 mm
jemném soustružení	0,005 až 0,05 mm

Velikost posuvu velmi ovlivňuje jakost obrobené plochy a trvanlivost břitu. Trvanlivost břitu, je ovlivněna materiálem obrobku, stejně jako řezným nástrojovým materiálem a právě zmíněným posuvem. Vyšší posuv má za následek kratší trvanlivost břitu, ale při určitých řezných rychlostech zároveň vede i k rychlejšímu obrábění a většímu objemu odebrání materiálu. [2]

A posledním třetím kritériem pro stanovení správných řezných podmínek je hloubka řezu a_p . Hloubka řezu se stanovuje dle potřebného přídávku na obrábění. Přídavek se vždy

Snažíme odebrat na jednu třísku. Hloubka řezu je omezena délkou ostří, kde by hloubka řezu neměla přesahovat $\frac{2}{3}$ délky ostří. [2]

Tab. 4.3. Doporučená hloubka řezu pro vnitřní soustružení [mm] [2]

Hrubování	3 až 30
Obrábění na čisto	0,5 až 2
Jemné soustružení	0,3 až 0,03

Ideální je volit poměr hloubky řezu a posuvu v rozsahu 3 : 1 až 10 : 1. [2]

U sériové a hromadné výroby by se měla správnému nastavení řezných podmínek věnovat velká pozornost z důvodů využití optimálního výkonu stroje a řezivosti nástroje, což vede k velké produktivitě práce. Velmi nutné je stanovit optimální trvanlivost bříty nástroje, podle níž bychom stanovily řezné podmínky

Materiál obrobku	Hrubování $s > 0,3 \text{ mm} \cdot \text{ot}^{-1}$		Soustružení na čisto $s = 0,3 \text{ až } 0,05 \text{ mm} \cdot \text{ot}^{-1}$		Jemné soustružení $s < 0,05 \text{ mm} \cdot \text{ot}^{-1}$	
	materiál nástroje		materiál nástroje		materiál nástroje	
	RO ¹⁾	SK ²⁾	RO	SK	RO	SK
Nelegovaná uhlíková ocel $R_m < 800 \text{ MPa}$	15 až 45	65 až 155 (220)	25 až 70	100 až 200 (400)	70 až 120	170 až 300
Nelegovaná uhlíková ocel $R_m > 800 \text{ MPa}$	15 až 40	45 až 110 (160)	20 až 55	80 až 160 (220)	60 až 90	150 až 250
Legované oceli	10 až 40	40 až 120 (150)	20 až 55	50 až 180 (200)	35 až 70	70 až 170
Litina	17 až 35	35 až 100 (200)	25 až 55	70 až 110 (250)	—	70 až 130
Slitiny hliníku	25 až 90	90 až 220 (300)	45 až 120	140 až 350 (500)	100 až 150	150 až 600

Obr. 4.4. Orientační řezné rychlosti při vnitřním soustružení [2]

4.9. Dosahovaná přesnost soustružení

Přesnost rozměrů a jakost obrobenej plochy je ovlivněna všemi výše uvedenými faktory. Jakost obrobenej plochy je při obrábění ovlivněna řadou parametrů obráběného procesu, zejména řeznými podmínkami, geometrií bříty nástroje, obráběným materiálem, tuhostí a pevností systému stroje – nástroj – obrobek – přípravek, opotřebením nástroje a řezným prostředím. Při hrubování se požaduje odebrání co největšího objemu materiálu za jednotku času., při obrábění na čisto a jemném obrábění se požaduje hlavně dodržení předepsané jakosti a rozměrové přesnosti obrobku. [2]

Tab. 4.4. Dosahované hodnoty přesnosti rozměrů a drsnosti povrchu [μm] [2]

Způsob Obrábění	Drsnost povrchu	Rozměrová přesnost IT
	Ra (μm)	
Hrubování	6,3	12
Obrábění načisto	6,3 až 3,2	9 až 11
Jemné obrábění	3,2 až 1,6	5 až 8

4.10. Vliv řezné nástroje

4.10.1. Materiály řezného nástroje – rozdělení

Řezné materiály jsou výsledkem intenzivních vývojových prací, které probíhaly hlavně ve 20. století, zejména pak od jeho 30 let. Při obrábění v roce 1900 trvala jedna operace asi 100 min. Velké zrychlení přišlo s vyvinutím rychlořezných ocelí kdy celkový čas za stejnou operaci klesl asi na 26 min. Další fází byl rok 1930 a vyvinutí prvních slinutých karbidů kde čas klesl asi na 6 min. Slinuté karbidy jsou až do dnešní doby nejpoužívanějším řezným materiálem a jejich vývoj přivedl celkový čas stejné operace asi na 0,3 min. S nadsázkou lze říci, že takovýto vývoj může za dnešní moderní a rychlý průmysl. [1]

Ideální řezný materiál by měl mít tyto vlastnosti :

1. Tvrdost – Zajistí odolnost proti opotřebení a plastické deformaci bříty.
2. Chemická stálost – zajistí odolnost proti oxidačnímu a difuznímu opotřebení
3. Tepelná odolnost – odolnost na teplotní rázy
4. vysoká houževnatost – odolnost proti vylomení a vyštípnutí bříty

Dle výroby a definované řezné geometrie dělíme nástroje na:

1. Kovové (vyrobené klasickým tavením);
2. Spékané (Vyrobené práškovou metalurgií);
3. Keramické (nekovové prášky lisované).

[1]

Dle odolnosti vůči otupení a rychlosti obrábění lze dělit na:

1. Nástrojová ocel;
2. Rychlořezná ocel;
3. Slinuté karbidy;
4. Řezná keramika;
5. Kubický nitrid Bóru a diamant.

[4]

4.10.2. Nástrojové oceli (NO)

Jsou nejstarší používané materiály. V současné době se velká část NO vyrábí klasickou technologií v elektrických obloukových pecích. Dělí se na tři skupiny. Uhlíková ocel, která se používá zejména na ruční nástroje jako jsou např. pilníky. Druhou skupinou jsou legované oceli na nástroje pro práci za studena, Cr-Mo-V ocel pro práci za tepla a poslední třetí skupinou je rychlořezná ocel (samostatná kapitola). Při vnitřním soustružení se takřka nepoužívají.[4]

4.10.3. Rychlořezná ocel (RO)

Patří mezi oceli třídy 19 8xx. Jsou to vysocelované nástrojové oceli. Od běžných nástrojových ocelí se liší obsahem legujících prvků. Rychlořezné oceli mají vyšší tvrdost a odolnost proti popouštění, dále mají poměrně vysokou pevnost. Obsah uhlíku se pohybuje mezi 0,65 až 1,5%. [4]

Rychlořezné oceli vyráběné prákovou metalurgií. (PM-RO)

Jsou novou možností výroby rychlořezných ocelí. V budoucnu se touto variantou, výroby rychlořezných ocelí budou firmy stále více zabývat a zvyšovat jejich kvantitu, která dnes představuje pouze asi 10% celkové výroby rychlořezných ocelí. Tato technologie zabezpečuje oproti standardní výrobě rychlořezných ocelí celou řadu výhod, mezi které patří např. nízká energetická a materiálová náročnost, dobré technologické vlastnosti, lepší houževnatost zvýšenou tvarovou a rozměrovou stálost při tepelném zpracování. [4]

Složení a jednotlivé přísady rychlořezných ocelí jsou:

- Wolfram (W) - je základním legujícím prvkem. Vytváří velmi tvrdé, vůči opotřebení odolné

- Vanad (V) - má nejtvrdší karbidy a tím zvětšuje odolnost proti abrazivnímu opotřebení. Minimální obsah vanadu musí být 1%
- Kobalt (Co) - Obsah kobaltu v RO nepřesahuje 10%. Vyznačuje se odolností proti popouštění, tvrdosti za tepla, vysokou řezivostí, ale také větší křehkostí.
- Chrom (Cr) - Velmi tvrdé karbidy a zlepšuje kalitelnost RO. [4]

Tab. 4.5. Doporučené rychlořezných ocelí pro jednotlivé obráběné materiály [4]

Druh Nástroje	Obráběný materiál						
	Ocel				Litina		Neželezné kovy
	Žíhaná Rm<900 MPa	zušlěchtěná		Austenitická	Do 300 HB	Do 400 HB	
		Rm=900- 1400 MPa	Rm>1400 MPa				
Soustružnické nože	19 810	19 856	19 861	19 810	19 810	19 861	19 810
	19 802	19 851	19 857	19 802	19 802	19 857	19 802
	19 829		19 851	19 851	19 829	19 851	19 829
Soustružnické řezné destičky	19 851	19 851	19 851	19 861	19 802	19 851	
	19 861	19 861		19 851	19 829	19 861	

4.10.4. Slinuté karbidy (SK):

Je to dvoufázový nebo třífázový materiál tvořený tvrdými karbidovými částicemi, které jsou vázány kovovým pojivem. Slinuté karbidy převzali majoritní část v použití řezných materiálů v obrábění. Nepovlakované slinuté karbidy se dnes používají především k obrábění hliníku. Nejčastěji používaným řezným nástrojem je slinutý karbid povlakovaný.[4]

Současné slinuté karbidy jsou rozděleny do šesti skupin.

- P – barva označení modrá
- M – barva označení modrá
- K - barva označení červená;
- N - barva označení modrá
- S – barva označení hnědá
- H – barva označení šedá

Další dělení je vázáno na číslu které je přiřazeno. Vyšší číslo znamená vyšší obsah pojícího kovu, vyšší houževnatost a pevnost v ohybu, nižší tvrdost a otěruvzdornost materiálu a vymezuje jeho používání pro nižší řezné a vyšší posunové rychlosti. [4]

Základními karbidy pro všechny druhy slinutých karbidů jsou karbidy wolframu (WC) a karbid Titanu (TiC) a pojícím kovem je kobalt (Co). Mezi další přísady patří karbidy tantalu (TaC), niobu (NbC) a chromu (Cr₃C₂). [4]

- Skupina K - je to složka WC+Co+(TaC,NbC). Jsou určeny pro obrábění materiálu, které tvoří krátkou třísku jako jsou šedá litina, neželezné slitiny a nekovové materiály. Tyto velmi jednoduché slinuté karbidy nedokázaly při obrábění oceli patřičně odolávat opotřebením na čele v podobě žlábků. [4]
- Skupina P - je složka WC + TiC + Co + (TaC, NbC). Je modernější a složitější, než slinuté karbidy skupiny K. Jsou určeny pro obrábění materiálů, které tvoří dlouhou třísku. Mezi tyto materiály patří oceli slitinové, uhlíkové a feritické (korozivzdorné.) V průběhu řezání dochází k velkým řezným silám a velkému opotřebením na čele, a proto musí obsahovat vysoké množství TiC a TaC, které zlepšují odolnost proti opotřebením na čele. Přísada TiC zaručuje velkou odolnost proti difuzi. [4]
- Skupina M - WC +TiC + TaC * NbC+Co. Používá se pro obrábění tvrdých materiálů jako lité oceli, austenitické korozivzdorné oceli a tvárné litiny. Velmi často se používají pro přerušované řezání. [4]
- Skupina N - Používají se pro neželezné kovy jako jsou slitiny Al a Cu.
- Skupina S - Speciální žárovečné slitiny na bázi Ni, Co, Fe a Ti
- Skupina H - zušlechťené oceli s pevností nad 1500 MPa, dále pro kalené oceli s pevností HRC 48 – 60. [8]

Po nepovlakovaných slinutých karbidech v dnešní době klesá poptávka a výrobci je omezují na přímo vybrané aplikace, kde je jejich ekonomické hledisko výhodnější. [4]

4.10.4.1. Povlakované slinuté karbidy

Povlakované řezné destičky byly dalším stádiem ve vývoji slinutých karbidech. První povlakované destičky se datují k 60. letům 20. stol. [4]

Existují 3 metody povlakování:

1. metoda PVD (Fyzikální napařování). Pracovní teplota pod 500 °C
2. metoda CVD (chemické napařování z plynné fáze). Pracovní teplota 700 – 1500 °C
3. metoda PCVD (Plazmatická CVD metoda) [4]

Vývojové stupně povlakovaných SK

1. generace: jednovrstvý povlak (TiC) – tloušťka asi 7 um. Možnost odlupování povlaku
2. generace: jednovrstvý povlak (TiC,Ti(C,N), TiN) – tloušťka 13 um. Bez možnosti odlupování povlaku.
3. generace: Vícevrstvý povlak (dvě,tři případně i více vrstev).
4. generace: Speciální vícevrstvý povlak (často i 10 a více vrstev)

[4]

Tab. 4.6. charakteristika povlaků [4]

Tvrдост	Tvrдост HV	Houževnatost	Odolnost proti			Koeficient tření	Přilnavost k podkladu
			Opotřebení		Oxidace		
			Čela	Hřbetu			
TiC	3000	2	3	1	3	2	1
TiN	2200	1	2	3	1	1	2
Al ₂ O ₃	2300	3	1	2	2	3	3
Ti(C,N)	2600	2	2	1	3	2	1

Poznámka: 1 nejvyšší
3 nejmenší

4.10.5. Řezná keramika

Základním materiálem pro výrobu keramických materiálů je oxid hlinitý (**Al₂O₃**). Počáteční surovinou jsou čisté jemnozrnné prášky základních surovin. Tyto suroviny se dále mísí, tvarují, suší, slinují a naposled upravují do konečného tvaru. Rozdílem proti SK je, že řezná keramika neobsahuje žádnou pojící složku. Mají velmi malou pevnost v ohybu, a proto nejsou vhodné k obrábění přerušovaným řezem. Pokud srovnáme soustružení se

SK a řeznou keramikou, tak právě řeznou keramikou jde dosáhnout až čtyřnásobnou vyšší řeznou rychlost. Tvrdost řezné keramiky při teplotě okolo 1000 °C je shodná s tvrdostí oceli při pokojové teplotě. Uplatnění je hlavně v obrábění šedé litiny, kalených ocelí, tvárné a temperované litiny.[4]

4.10.6. Polykrystalický diamant (PD)

Je dosud nejtvrdějším přírodním materiálem, který nejde žádnými slinutými karbidy ani řeznou keramikou. Při srovnání s ostatními řeznými materiály dosahuje diamant mnohonásobné zvýšení trvanlivosti řezné hrany. Při obrábění polykrystalickým diamantem dosahujeme kvalitnějšího povrchu obrobené plochy s důvodů možnosti nastavení vyšší řezné rychlosti. Vysoká cena řezných destiček omezuje obrábění běžné oceli. Nástroje s PKD se používají na obrábění skla, diamantu, slinutých karbidů keramiky a neželezných kovů. Velkou výhodou je vysoká trvanlivost a životnost nástroje a proto se používá v sériové a velkosériové výrobě.

[4]

4.10.7. Polykrystalický Kubický nitrid Boru (PKBN)

Kubický nitrid Boru je synteticky vyrobený materiál, který se v přírodní formě nevyskytuje. V porovnání s řeznou keramikou se vyznačuje ještě vyšší tvrdostí a houževnatostí. Kubický nitrid Boru se velmi podobá vlastnostem diamantu se kterým společně dosahují velkých pevností za tepla (až 1300 °C). Destičky s KBN jsou nejpoužívanější při obrábění zušlechtěných (zakalených) ocelí a tvrzených litin s tvrdostí nad 48 HRC. Řezná destička zaručuje velkou tloušťku třísky a kvalitní jakost obrobené plochy.

[4]

Tab. 4.7. Řezné destičky

<p>SK nepovlakované</p>	
<p>SK povlakované</p>	
<p>Řezná keramika</p>	
<p>Polykrystalický diamant</p>	
<p>Kubický nitrid Bóru</p>	

5. OVEŘENÍ NAVRŽENÉ TECHNOLOGIE

5.1. Výroba díry litinového setrvačnicku

Litinový setrvačnick je vyroben z šedé litiny EN GJL 200. Do firmy je přivezen jako odlitek a zde se dále opracovává. Po požadovaných obráběcích operacích se obrobek expeduje do firmy M.L.S. Olomouc

Díra, jejíž výrobou se zabývám má jmenovitý rozměr 80H7 . Šedá litina z které je setrvačnick vyroben se skládá s následujícího chemického složení.

Tab. 5.1. Chemické složení materiálu EN GJL 200 [10]

Prvek	Směsné složení %
C	2,90 až 3,65
Si	1,80 až 2,90
Mn	0,40 až 0,90
S	0,10 max.
P	0,30 max.

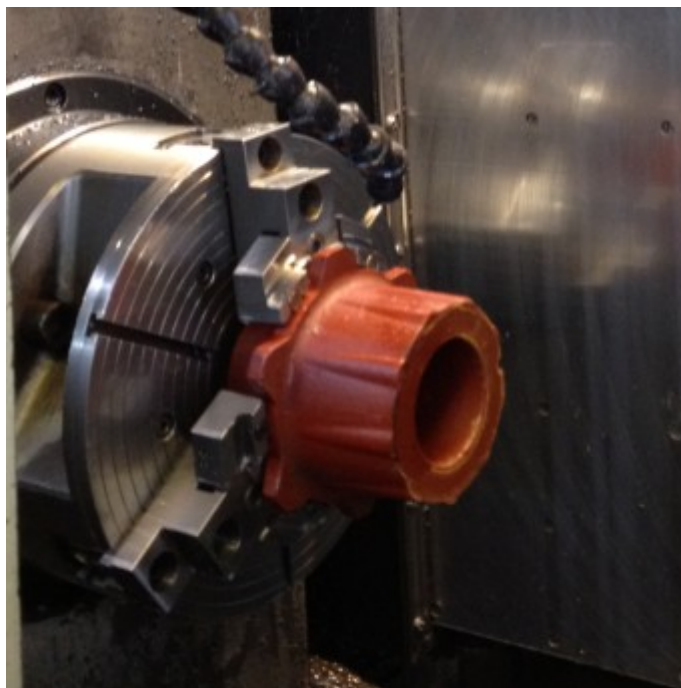
Dle české normy se značí jako ČSN 42 2420. Používá se na součásti, kde je potřeba dobrá tepelná vodivost, tlumí chvění a je velmi dobře obrobitelná. Tvrdost HB 120 – 190.



Obr. 5.2. Litinové setrvačnicku

Povrch odlitku se často obrábí hůře, protože na povrchu obsahuje nečistoty jako je struska, písek atd. Tímto je dost možné, že řezná vyměnitelná řezná destička (VBD) má kratší trvanlivost, než se očekává.

Upnutí litinového setrvačníku je do tříčelistového sklíčidla. Operace, které na stroji při obrábění setrvačníku probíhají, se dělají na jedno upnutí.



Obr. 5.3. Upnutí litinového setrvačníku

5.1.1. Obráběcí stroj

Velký význam na přesnost vyrobené součásti má i obráběcí stroj. Pro sériovou výrobu, která u litinového setrvačníku probíhá, se používají soustružnické automaty. Tyto stroje disponují velkým množstvím nástrojů tak, aby obrobek byl vyroben na jedno upnutí.

Soustružení vnitřní díry litinového setrvačníku se provádí na soustruhu SPR 100 CNC. Toto CNC má vřeteno o 6 nástrojích, z níž jsou na obrábění díry použité dva nástroje. První nástroj na hrubování a druhý na hlazení díry. Stroj zakoupila firma před 6 lety úplně nový a po dobu jeho používání se kromě pravidelných kontrol a výměn opotřebovaných součástí nic neměnilo a žádná větší havárie se na stroji nestala, proto by jeho přesnost měla stále odpovídat předepsaným parametrům.

<i>Hlavní technické údaje:</i>		
Vrtání vřetena	114	mm
Max. průchod tyče vřetenem	100	mm
Maximální oběžný průměr	550	mm
Délka obrábění	250	mm
Rozsah otáček vřetena	20-2300	ot/min
Výkon hlavního motoru	37	kW
Půdorysná plocha stroje	3196x1755	mm
Výška stroje	3020	mm
Hmotnost stroje	8000	kg

Obr. 5.2. Technické parametry SPR 100 CNC. [11]



Obr. 5.3. Soustruh SPR 100 CNC

5.1.2. Původní technologie obrábění

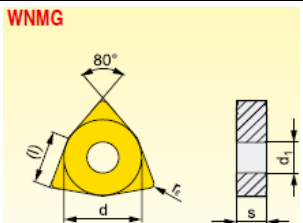
Tato zakázka je poměrně novou záležitostí ve firmě ZLKL Loštice, s.r.o. a na kvalitní jakost obrobené díry se stále hledají ty správné řezné podmínky, řezné materiály atd. Původní obrábění přesné díry se provádí na dvě operace. První je operace hrubování, která se provádí na 2 záběry. Druhou operací je dokončovací operace, která se provádí na 1 záběr.

5.1.3. Řezné materiály

Řezný materiál bude podle mého názoru hlavní příčinou špatné jakosti povrchu obrobku. Výběr správné řezné destičky ovlivňuje rozměrovou přesnost, drsnost povrchu a samozřejmě také ekonomickou část výroby. Firma ZLKL, s.r.o. odebrává řezné destičky od firmy PRAMET. Řezné materiály, které jsou použité na soustružení díry, jsou ze SK.

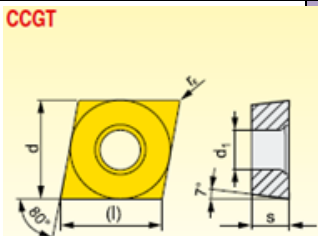
1. Pro hrubování se používá destička ze SK. Typu WNMG 080408E-R; 6615 [8]

Tab. 5.2. Řezná destička WNMG 080408E-R; 6615 [8]

	ISO	ANSI	Radius (mm)	Posuv na ot.	Hloubka řezu (mm)
	WNMG 080408E-R	WNMG 432E-R	0,8	0,1 – 0,6	0,3 – 5,6

2. Pro hlazení se používá také destička ze SK s přesným označením CCGT 09T308F-AL; 8030 [8]

Tab. 5.3. Řezná destička CCGT 09T308F-AL; 8030 [8]

	ISO	ANSI	Radius (mm)	Posuv na ot.	Hloubka řezu (mm)
	CCGT 09T308F-AL	CCGT3(2.5)F-L	0,8	0,15 – 0,6	0,8 – 5

5.1.4. Řezné podmínky

Řezné podmínky společně s řezným nástrojem jsou nejdůležitějšími faktory ovlivňujícími drsnost povrchu. Na stroji byly nastaveny řezné podmínky takto:

1. Hrubování : 1. Řezná rychlost)
2. Posuv /ot.
3. Hloubka řezu
4. Otáčky 350 ot./min.

2. Hlazení : 1. Řezná rychlost
 2. Posuv /ot.
 3. Hloubka řezu
 4. Otáčky 600 ot./min.

5.1.5. Původní dosahované výsledky

Při sledování a konzultování problému, jenž se pokouším vyřešit, jsem zjistil, že správná jakost obrobeného povrchu je od výměny břitové destičky po dobu asi 15 až 20 kusů (na jednu řeznou hranu). Při zkoumání jiných výrob bylo zjištěno, že destička s takovou požadovanou drsností a obráběným materiálem by měla vydržet 30 až 40 obrobků.

1. První měření proběhlo po pěti kusech od výměny břitové destičky. Výsledek $R_a = 1,353 \mu\text{m}$. Druhé Měření proběhlo u 15. kusu s výsledkem $R_a = 1,725 \mu\text{m}$. A třetí konečné zaznamenané měření proběhlo u 20. kusu s výsledkem $1,813 \mu\text{m}$. S výsledků vyplývá, že 15. obrobený kus už nevyhovuje.



Obr. 5.4. Původní výsledky

5.2. Návrh technologie

Před navržením technologie se s pomocí firemních pracovníků snažím zkontrolovat všechna obecná pravidla pro přesné soustružení děr. Upnutí nástrojů je pevné a bez možností vyvolání jakýchkoli vibrací, které by mohly vést k nekvalitně obrobenému povrchu nebo špatné rozměrové přesnosti. Odvod třísek je bezproblémový díky kvalitnímu řeznému prostředí. Při obrábění díry se třísky tvoří velmi malé. Teplo, které vzniká při obrábění, je přímo úměrné operacím, které se provádí. Díky kontrole, kterou jsem provedl, si myslím, že za špatnou jakost obrobeného povrchu nemůže ani jedna z výše uvedených věcí. Vibrace, které by mohly při obrábění děr nastat, jsem vyloučil. Z tohoto důvodu si myslím, že hlavním problémem bude volba řezné destičky a možná také zvýšení řezných podmínek. [1]

5.2.1 Výběr řezného materiálu

Mnou vybrané řezné destičky se odvíjely nejprve od požadavků firmy, jenž chtěla aby nožový držák zůstal stejný. Dále od obráběného materiálu, požadavků na kvalitu obrobeného povrchu, zvýšení řezných podmínek a samozřejmě také od ceny.

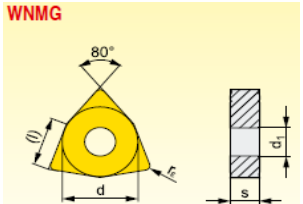
5.2.1.1 Hrubovací operace

Řezná destička na hrubování je v podstatě správná, ale já jsem na experiment vybral destičku ve stejné cenové relaci s větším zaoblením břitu. Tudíž by tato destička mohla vydržet o něco déle než stávající destička. Další výhodou je možnost zvýšení posuvu na ot.

Vybranou řeznou destičku ke zkouškám jsem si zvolil **WNMG 080412E-R**. Tato destička má o 0,4 mm větší radius špičky, což je při třísce 1,5 mm výhodnější. Je možné také zvýšit posuv a tím zároveň ušetřit čas. Tato destička je určena pro obrábění materiály skupiny K, M, P k polohrubování a hrubování. Náš obráběný materiál spadá do skupiny M, což nám také vyhovuje.

Výběr nástroje jsem začal zvolením tloušťky řezné destičky. Tu jsem zvolil dle nomogramu z katalogu Pramet. Tloušťka řezné destičky mi vyšla T3 (3,97) při zvoleném posuvu. 0,4 mm/ot. a hloubce řezu 1,5 mm. Další kritériem pro správnou volbu nástroje je zaoblení špičky břitové destičky.[8]

Tab. 5.4. Řezná destička WNMG 080412E-R; 8016 [8]

	ISO	ANSI	Radius (mm)	Posuv na ot.	Hloubka řezu (mm)
	WNMG 080412E-R	WNMG 433E-R	1,2	0,1- 0,7	0,3 – 5,6

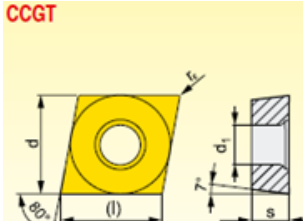
5.2.1.2 Hladící Operace

Pro hlazení jsem na experiment vybral tři řezné destičky. Zde budu dávat co největší důraz na správnost a kvalitu vybraného nástroje. Po prozkoumání stávající řezné destičky jsem přišel na to, že používaná destička by měla být aplikována pouze na obrábění hliníku a jeho slitin.

Mnou vybrané destičky jsou **CCGT 09T304ER-SI** a **CCMT 09308E-UM** z firmy Pramet a **CCGT 09T308 MN – HC6310** od firmy Atorn. Tyto řezné destičky jsou určeny k obrábění materiálů skupin K,M,P, to znamená i k obrábění šedé litiny. Dalším důvodem je menší zaoblení špičky, které by mělo být vždy menší než je odebíraný materiál. [8]

1. Řezná destička **CCGT 09T304ER-SI; 8016**

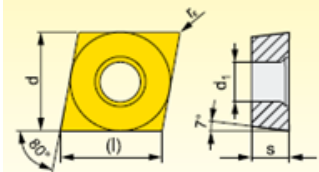
Tab. 5.5. Řezná destička CCGT 09T304ER-SI; 8016 [8]

	ISO	ANSI	Radius (mm)	Posuv na ot.	Hloubka řezu (mm)
	CCGT 09T304ER-SI	CCGT3(2.5)1EL-SI	0,4	0,14 - 0,3	0,8 – 2

Tato destička se od stávající liší utvařečem třísky menším zaoblením špičky a povlakem. Tato destička je zaměřena na obrábění litiny, tedy přesně pro náš obráběný materiál.

2. Řezná destička **CCMT 09T308E – UM; 8016**


Tab. 5.6. Řezná destička CCMT 09T308E – UM; 8016 [8]

	ISO	ANSI	Radius (mm)	Posuv na ot.	Hloubk a řezu (mm)
	CCMT 09T308E – UM	CCMT3(2.5)E-UM	0,8	0,08 - 0,25	0,8 – 3

Druhá mnou zvolená destička se také liší v povlaku, utvařeči třísky, ale zaoblení špičky je shodné se stávající destičkou.

3. Řezná destička **CCGT 09T308 MN – HC;6310**

Tab. 5.7. Řezná destička CCGT 09T308 MN – HC;6310 [15]

	ISO	Radius (mm)	Posuv na ot.	Hloubk a řezu (mm)
	CCGT 09T308MN – HC	0,8	0,1 - 0,3	0,2 – 3,5

Poslední zvolená destička je od firmy ATORN, která se liší v materiálu povlaku a utvařečem třísky. Používá se pro hlazení litiny a ocelí. Doporučená řezná rychlost pro litinu je

6. DISKUZE EXPERIMETU

Firma měla požadavek, aby byly vybrány řezné destičky do nožových držáků, které nyní využívají. Nožový držák pro hrubování je typu **A32S - PWLNR/L 08**, pro hlazení **A25R – SCLCR/L 09**. Držáky byly vybrány z firmy Pramet.

Dalším požadavkem firmy bylo, aby všechny experimenty, které budou provedeny, nezpomalovaly rychlost výroby. Proto pokusy, které jsem prováděl na Soustruhu SPR 100 CNC byly prováděny v několika dnech za běžného provozu. Prvním zkoušeným řezným materiálem byla destička ze SK **WNMG 080412E-R; 6620**. Druhým a třetím zkoušeným materiálem byly destičky **CCGT 09T304ER-SI; 8016**, **CCMT 09308E – UM 8016** a **CCGT 09T308 MN – HC6310**.

6.1 Test a výsledek řezného materiálu WNMG 080412E-R

Destička, kterou zkouším, je téměř stejná jako původní, pouze s rozdílem většího zaoblení špičky a materiálem povlaku. Právě možnou příčinou, proč nelze dosáhnout požadované drsnosti obrobeného povrchu, může být hrubování. Důvodem je, že takto malé zaoblení špičky, které měla původní destička na odebranou třísku 1,5 mm, by mohlo způsobit rychlejší opotřebení nástroje a tím rapidní zhoršení hrubovaného povrchu, na kterém následuje hladicí operace. A právě malý poloměr špičky u hladicí operace při nájezdu na špatně obrobenou plochu při hrubování, může postupně velmi rychle otupovat řezný materiál.

Výsledek obrobeného povrchu jsem porovnal se stávající destičkou. Výsledky, jenž jsem naměřil vypadaly zpočátku velmi nepříznivě pro mnou zvolenou destičku, ale čím více kusů jsme obrobili tím se drsnost obrobeného povrchu srovnávala, až nakonec mezi 25. a 30. kusem se ukázala mnou navržená destička jako výhodnější pro danou operaci.

Řezné podmínky:

1. Řezná rychlost
2. Posuv /ot.]
3. Hloubka řezu
4. Otáčky 500 [ot./min.]

Tab. 6.1. Výsledky experimentů

Řezný nástroj/ počet kusů	5. kus	10. kus	20. kus	35. kus
WNMG 080408E-R	2,985	3,115	3,725	4,86
WNMG 080412E-R	2,85	3,486	3,782	4,227

Doporučená hodnota drsnosti by při hrubovací operaci měla být pod $Ra = 6,3 \mu m$. Z experimentu vyplývá, že destička, jenž jsem navrhnul na hrubování, je do cca 25 kusů horší. Poté se stávající destička s menším rádiusem rychleji opotřebí a začíná dělat horší povrch. V požadovaném výsledku 35 kusů je rozdíl podstatný a hůře obrobený povrch může mít vliv na rychlejší opotřebení břitů při hladící operaci.

6.2 Test a výsledek řezného materiálu CCGT 09T304ER-SI; 8016

Tuto navrženou destičku jsem vybral na základě katalogu firmy Pramet pro soustružení. Jako první jsem vybral destičku se stejným upnutím, což je požadavek firmy. Podstatný rozdíl destičky je v oblasti použití. Tato destička se používá na obrábění materiálů typu P, M, K. Je to vysoce univerzální destička s velmi malým řezným odporem. Rádus špičky jsem vybral 0,4 mm. Zde dle výsledků jsem zvolil mnou navrženou destičku pro hrubování. Řezné podmínky, které jsem zvolil, jsou:

1. Řezná rychlost
2. Posuv]
3. Hloubka řezu
4. Otáčky 650 ot./min.

Tab. 6.2. Výsledky Experimentů destičky CCGT 09T304ER-SI; 8016

Řezný nástroj/ počet kusů	5. kus	10. kus	20. kus	35. kus
CCGT 09T308F-AL	1,267	1,358	1,622	1,979
CCGT 09T304EL-SI	1,200	1,311	1,558	-



Obr. 6.1. Porovnání výsledků Druhého experimentu

Při druhém pokusu, který se zabývá hladící operací, tudíž řeznou destičkou pro hlazení, jsem vybral destičku s menším rádiusem špičky. První destička byly výsledky předešlé zkoušky a druhá byla destička mnou navržená. Průběh byl podobný jako u minulého experimentu. Zpočátku byla drsnost povrchu lepší, ale u cca 25 kusů se začala výrazněji zhoršovat. Naproti tomu destička, kterou nyní používají, měla po celou dobu postupně klesající zhoršení. Velkým překvapením pro mě bylo, že destička, která je konstruována na hliník a jeho slitiny, vyrábí kvalitnější drsnost obrobeneho povrchu než destička, která je vyrobena přímo na obrábění litiny.

6.3. Test a výsledek řezného materiálu CCMT 09T308E-UM 8030

Druhou navrženou destičku pro hlazení jsem zvolil také od firmy Pramet. Nyní jsem použil stejné zaoblení špičky jako u stávající destičky. Rozdílem je utvářeč třísky a povlak, který je více zaměřený na mechanickou zátěž břitu. Tato destička je zaměřena také na výrobu obráběných materiálů skupin K, M, P. Zde budu porovnávat nynější používanou destičku, která vyšla z prvního testu jako výhodnější a mnou navrženou CCMT 09T308E-UM 8040. Doporučená řezná rychlost

1. Řezná rychlost
2. Posuv]
3. Hloubka řezu
4. Otáčky 800 ot./min.

Tab. 6.3. Výsledky Experimentů destičky CCMT 09T308E-UM 8030

Řezný nástroj/ počet kusů	5. kus	10. kus	20. kus	35. kus
CCGT 09T308F-AL	1,267	1,358	1,632	1,979
CCMT 09T308E-UM	1,199	1,369	1,611	1,848

Experiment, který jsem prováděl s řeznou destičkou **CCMT 09T308E-UM 8040**, vyšel při kontrole lépe než se stávající destičkou. Kladný výsledek je ovšem nepatrný a stále nesplňuje požadovanou jakost obrobené plochy.



Obr. 6.2. Porovnání výsledků třetího experimentu

6.4. Test a výsledek řezného materiálu CCGT 09T308 MN – HC6310

Posledním řezným materiálem jsem zvolil destičku ze SK od firmy ATORN. Z předešlých zkoušek jsem zjistil, že menší rádius špičky tvoří požadovaný povrch asi do 25 kusů, což je málo. Proto jsem jako třetí destičku zvolil rádius stejný jako původní destička se stejným upnutím. Rozdíl je zde v povlaku destičky. Destička je stavěna především na obrábění oceli, ale ze zkušeností z jiných pracovišť má při obrábění litiny výborné výsledky.

1. Řezná rychlost
2. Posuv
3. Hloubka řezu
4. Otáčky 1000 ot./min.

Tab. 6.4. Výsledky Experimentů destičky CCGT 09T308 MN – HC6310

Řezný nástroj/ počet kusů	5. kus	10. kus	20. kus	35. kus
CCGT 09T308F-AL	1,267	1,358	1,632	1,979
CCGT 09T308 MN – HC	1,037	1,158	1,347	1,624



Obr.6.4. Porovnání výsledků čtvrtého experimentu

Posledním pokusem jsem v podstatě splnil cíl bakalářské práce a to najít vhodnou technologii výroby přesných děr. Cílem bylo, abych při soustružení díry o \varnothing 80mm docílil požadované drsnosti obrobené plochy, která byla stanovena $R_a = 1,6 \mu\text{m}$. Dle informací jsem zjistil, že takto obrobený povrch by mělo mít asi 35 až 40 litinových setrvačníků na jednu řeznou hranu. Zde po přeměření 35. kusů jsem zjistil, že jakost obrobené plochy vyhovuje. Důvodem dle mého názoru byla malá řezná rychlost se špatně navrženou destičkou.

7. TECHNICKO-EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ

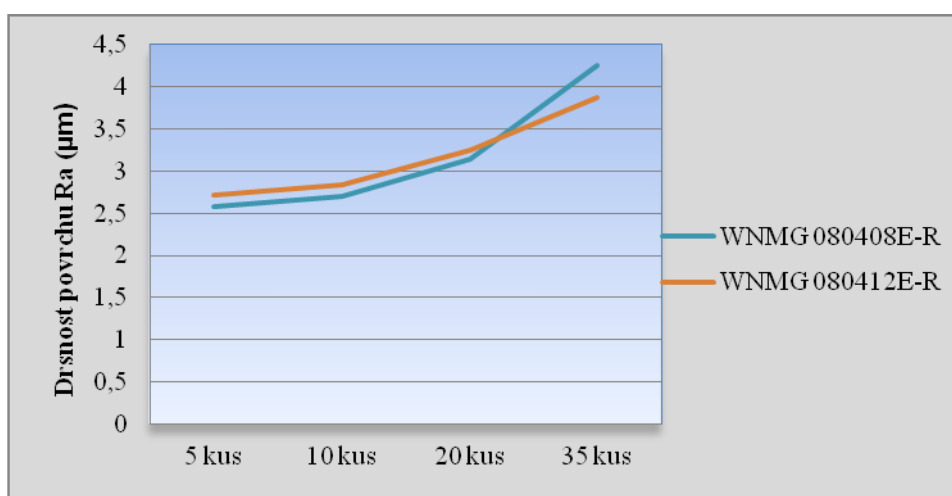
7.1. Technické zhodnocení

7.1.1 Vyhodnocení experimentů

Při pokusech, jenž jsem prováděl na jedné hrubovací a třech hladících řezných nástrojích, jsem dospěl k závěru, že hrubovací destička, kterou jsem navrhl, je praktičtější pro náš případ. Důvodem je větší rádius špičky, který se pomaleji opotřebuje. Hladící řezné nástroje jsem vybíral z katalogů PRAMET a ATORN. Mým cílem bylo dosáhnout požadované jakosti obrobeneho povrchu, které firma nedosahovala podle svých představ. Mým prvním cílem bylo zjistit a zabezpečit, aby nedocházelo k porušení obecných pravidel vnitřního soustružení. To znamená správné upnutí řezné destičky, správné řezné prostředí a další kritéria, která by zamezila vibracím. Po konzultaci s technologem firmy, se budu zabývat materiálem destičky, povlakem, zaoblením špičky řezného materiálu. Pokud by prováděné experimenty dopadly špatně, museli bychom přejít k nastavení pracovních úhlů řezné geometrie.

Tab. 7.1. Porovnání výsledků stávající a mnou navržené hrubovací řezné destičky

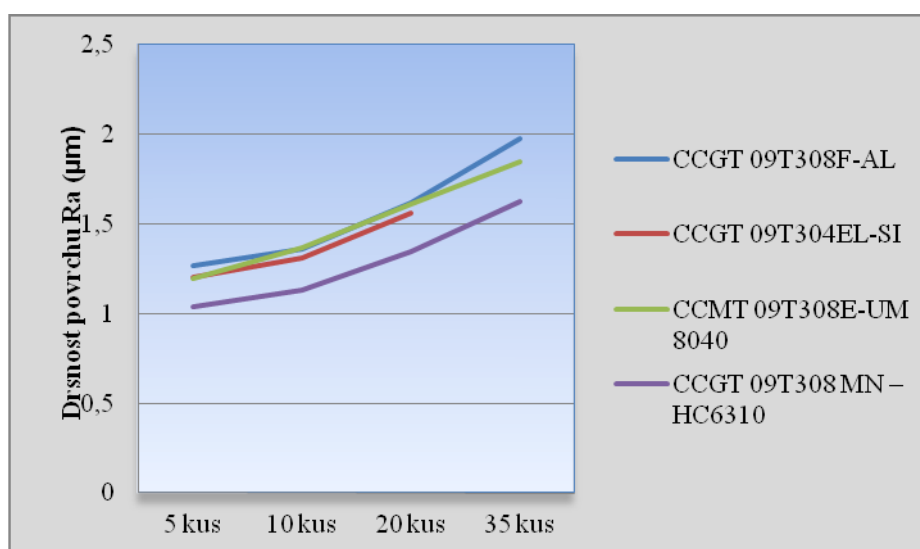
Řezné nástroje/ Počet Kusů	5 kus	10 kus	20 kus	35 kus
WNMG 080408E-R	2,581	2,694	3,15	4,25
WNMG 080412E-R	2,712	2,832	3,251	3,867



Obr. 7.1. Grafické znázornění výsledků

Tab. 7.2. Porovnání výsledků stávající a mnou navržených hladících řezných destiček

Řezné nástroje	5 kus	10 kus	20 kus	35 kus
CCGT 09T308F-AL	1,267	1,358	1,622	1,979
CCGT 09T304EL-SI	1,200	1,311	1,558	2,023
CCMT 09T308E-UM	1,199	1,369	1,611	1,848
CCGT 09T308 MN – HC	1,037	1,128	1,347	1,624



Obr. 7.2. Grafické znázornění výsledků

Z technického hlediska dopadl poslední experiment nejlépe a splňuje cíl této bakalářské práce. V případě špatných výsledků, bychom museli navrhnout nastavení pracovních úhlů řezné geometrie.

Mezi mnou navrženými destičkami chybí destička s řezné keramiky. Firma tyto destičky nepoužívá a s tohoto důvodu mi nebylo umožněno s těmito destičkami provést experiment. Řezná keramika je ideálním řezným materiálem pro šedou litinu, se které, je setrvačným vyroben. Doporučená řezná rychlost pro obrábění litiny řeznou keramikou je . Tuto řeznou rychlost na obráběcím stroji SPR 100 CNC nejde dosáhnout kvůli omezenému počtu otáčet vřetene. Tudíž mnou navržená řezná rychlost by byla .

7.2 Ekonomické zhodnocení

7.2.1 obecné informace

Celkovou nákladovostí výrobku a zproduktivněním výroby se nemohu moc zabývat, protože při výrobě litinového setrvačnicku na stroji SPR 100 CNC, na kterém řeším daný problém probíhá řada dalších operací, které vedou ke konečnému vzhledu litinového setrvačnicku. Proto náklady a zproduktivnění výroby jsou zanedbatelné. Celkový čas, za který se litinový setrvačnick obrobí, je 13 min. Obrobení díry je provedeno na tři třísky kdy dvě jsou hrubovací a jedna hladicí. Celkový čas obrobení díry vyšlo na 7 min.

Cena stávajících destiček:

1. Hrubovací destička WNMG 080408E-R - pořizovací cena 205,20 Kč
2. Hladicí destička CCGT 09308F-AL – pořizovací cena 226,80 Kč

Ceny mnou navržených destiček:

1. Hrubovací destička WNMG 080412E-R – pořizovací cena 205,20 Kč
2. Hladicí destičky CCGT 09T304EL-SI – pořizovací cena 236,40 Kč
3. Hladicí destička CCMT 09T308E-UM 8030 – pořizovací cena 146,20 Kč
4. Hladicí destička CCGT 09T308 MN – HC6310 – pořizovací cena 254 Kč [13]

[12]

7.2.2. Výpočet hospodárnosti pro zkoušené nástroje

Při hrubovací operaci není nikde dáno, kolik by měla mít drsnost obrobeného povrchu před následným hlazením. Jasně ovšem je, že čím lépe obrobený povrch bude, tím bude hladicí operace snadněji probíhat. Tedy při stejné ceně řezné destičky nám vyhovuje mnou navržená destička.

Řezná destička na hladicí operaci:

1. Řezná destička **CCGT 09308F-AL; 8030**

A – Plánovaný počet kusů za rok	25 000 ks
B – počet správně obrobených kusů na destičku	38 ks
C – Počet řezných hran na destičce	2
D – Cena za VBD	226,80 Kč

E – Roční náklady na nástroj	- Kč
F – Náklady na nástroj	- Kč
G – Náklady na řeznou hranu	- Kč

(E) – Náklady na řeznou hranu – $226,80 / 2 = \underline{\underline{113,40 \text{ Kč}}}$ (G)

(F) – Náklady na nástroj – $113,4 / 38 = \underline{\underline{2,98 \text{ Kč}}}$

(G) – Náklady na řeznou hranu $25\,000 * 2,98 = \underline{\underline{74\,500 \text{ Kč}}}$

2. Řezná destička **CCGT 09T304ER – SI; 8016**

A – Plánovaný počet kusů za rok	25 000 ks
B – počet správně obrobených kusů na destičku	40 ks
C – Počet řezných hran na destičce	2
D – Cena za VBD	236,40 Kč

E – Roční náklady na nástroj	- Kč
F – Náklady na nástroj	- Kč
G – Náklady na řeznou hranu	- Kč

(E) – Náklady na řeznou hranu – $236,40 / 2 = \underline{\underline{118,20 \text{ Kč}}}$ (G)

(F) – Náklady na nástroj – $118,20 / 40 = \underline{\underline{2,95 \text{ Kč}}}$

(G) – Náklady na řeznou hranu $25\,000 * 2,95 = \underline{\underline{73\,750 \text{ Kč}}}$

3. Řezná destička **CCMT 09T308E-UM; 8016**

A – Plánovaný počet kusů za rok	25 000 ks
B – počet správně obrobených kusů na destičku	40 ks
C – Počet řezných hran na destičce	2
D – Cena za VBD	146,20 Kč

E – Roční náklady na nástroj	- Kč
F – Náklady na nástroj	- Kč
G – Náklady na řeznou hranu	- Kč

(E) – Náklady na řeznou hranu – $146,2 / 2 = \underline{\underline{73,10 \text{ Kč}}}$ (G)

(F) – Náklady na nástroj – $73,1 / 40 = \underline{\underline{1,83 \text{ Kč}}}$

(G) – Náklady na řeznou hranu $25\,000 * 1,83 = \underline{\underline{45\,750 \text{ Kč}}}$

4. Řezná destička **CCGT 09T308 MN – HC6310**

A – Plánovaný počet kusů za rok	25 000 ks
B – počet správně obrobených kusů na destičku	78 ks
C – Počet řezných hran na destičce	2
D – Cena za VBD	254 Kč
E – Roční náklady na nástroj	- Kč
F – Náklady na nástroj	- Kč
G – Náklady na řeznou hranu	- Kč

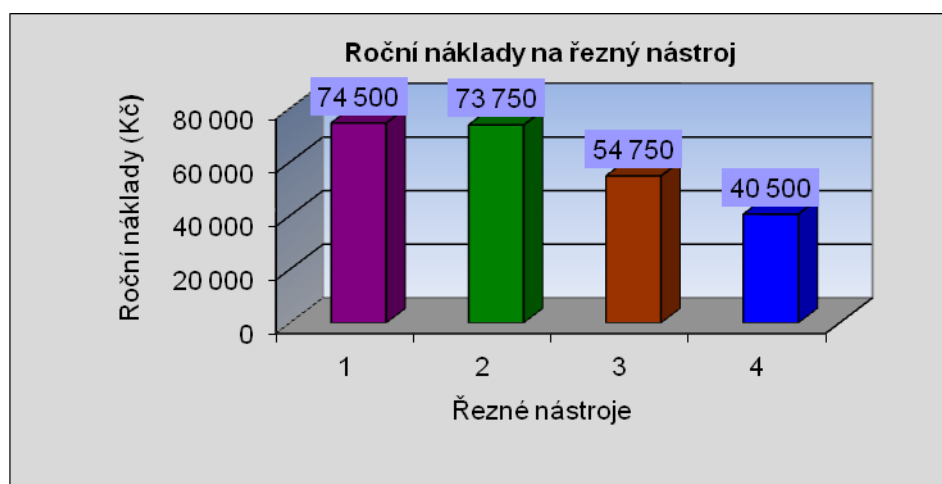
(E) – Náklady na řeznou hranu – $254 / 2 = \underline{\underline{127 \text{ Kč}}}$ (G)

(F) – Náklady na nástroj – $127 / 78 = \underline{\underline{1,62 \text{ Kč}}}$

(G) – Náklady na řeznou hranu $25\,000 * 1,62 = \underline{\underline{40\,500 \text{ Kč}}}$

Srovnání ročních nákladů na řeznou hranu destičku:

Řezná destička	Cena
CCGT 09308F-AL; 8030	74 500 Kč
CCGT 09T304ER – SI; 8016	73 750 Kč
CCMT 09T308E-UM; 8016	45 750 Kč
CCGT 09T308 MN – HC6310	40 500 Kč



Obr. 7.3. Grafické znázornění výsledků ročních nákladů na VBD

Nástroj od firmy ATORN **CCGT 09T308 MN – HC6310** je jak z technického tak ekonomického hlediska nejlepší. Destička je sice nejdražší, ale zároveň jako jediná z mnou navržených vyhovuje požadovaným technickým podmínkám. Dále také firmu řezné destičky ročně přijdou na 40 500 Kč při 25 000 obrobených kusech, což je téměř o 35 000 Kč levnější při nynější používané. Další výhodou je i časová úspora, protože výměna břitové destičky představuje i vynulování korekcí na nulovou hodnotu.

ZÁVĚR :

Předmětem mé bakalářské práce bylo navrhnout firmě Závody lehkých konstrukcí Loštice s.r.o. správnou technologii pro výrobu děr. Hlavním problémem bylo, že při soustružení vnitřní díry litinového setrvačnicku se nedosahovalo požadované drsnosti obrobeného povrchu. Tento problém jsem řešil zamezením všech možných variant, které by způsobovaly vibrace, a dále zvolením správného řezného materiálu. Experimenty s mnoha navrženými řeznými materiály jsem prováděl v několika dnech za neustálého kontrolování. Jako poslední zkoušenou destičku jsem zvolil **CCGT 09T308 MN – HC6310** od firmy ATORN.

Tato destička splnila všechny požadované parametry. Počet správně obrobených kusů je požadovaných 35 a snížení ročních nákladů téměř o 35 000 Kč. Pokud by ovšem tyto experimenty nedosáhly pozitivních výsledků, musel bych přejít k nastavení pracovních úhlů řezné geometrie.

Cíl mé bakalářské práce byl splněn a při zavedení řezného materiálu **CCGT 09T308 MN – HC6310** by se ročně ušetřily nemalé finanční prostředky.

Při řešení mé bakalářské práce jsem spolupracoval se svým vedoucím panem doc. Ing. Vladimírem Vrbou, CSc. Chtěl bych mu tímto poděkovat za cenné rady, a pomoc při řešení problémů včetně poskytnutí studijních podkladů. Dále bych chtěl poděkovat firmě Závody lehkých konstrukcí Ločtice za poskytnutí pracovních technologií.

V Ostravě 21. 5. 2012

Petr Kouřimský
.....
podpis studenta

POUŽITÉ ZDROJE

- [1] Příručka obrábění: kniha pro praktiky. 1. české vyd. Překlad Miroslav Kudela. Praha: Scientia, c1997, 1 s. ISBN 91-972-2994-6.
- [2] ŘASA, Jaroslav; GABRIEL, Vladimír. *Strojírenská technologie 3, 1.díl: Metody, stroje a nástroje pro obrábění*. Praha: Scientia, 2000, 256 s., ISBN 80-7183-207-3
- [3] BRYCHTA, Josef, Robert ČEP, Marek SADÍLEK, Lenka PETŘKOVSKÁ a Jana NOVÁKOVÁ. *Nové směry v progresivním obrábění* [online]. Ediční středisko VŠB – TUO: Ediční středisko VŠB – TUO, 2007, s. 42-55 [cit. 2012-04-15]. ISBN 978-80-248-1505-3.
- [4] MRKVICA, Ivan. *Návody ke cvičení z obráběcích nástrojů 1. část*, Ostrava, 2008. 142 s. ISBN 978-80-248-1053-9.
- [5] KOČMAN, Karel; PROKOP Jaroslav. *Technologie obrábění*. Brno: CERM, 2003. 172 s. ISBN 80-214-1996-2.
- [6] MÁDL, Jan, Jindřich KAFKA, Martin VRABEC a Rudolf DVOŘÁK. *Technologie obrábění: 1. díl*. Praha: ČVUT, 2000, 79 s. ISBN 80-010-2091-6.
- [7] KOČMAN, Karel. *Technologické procesy obrábění*. Brno: CERM, 2011, 332s., ISBN 978-80-7204-722-2)
- [8] PRAMET Tools. Katalog obrábění [online] [cit. 22.4.2012] 328 s., Dostupný z WWW: <<http://www.pramet.com/download/katalog/pdf/Turning%202012%20SK%20PROG.pdf>
- [9] ZAJAC, Jozef; JURKO, Jozef; ČEP, Robert. *Top trendy v obrábění, II. část – Nástrojové materiály*. Žilina: Media/ST, s.r.o Žilina, 2006. 193 s. ISBN 80-968954-2-7
- [10] TECHNOMETAL : [online] [cit. 16.4.2012] dostupné z WWW: <http://www.ucbtechnometal.cz/download/EN-GJL-200.pdf>
- [11] DIFAK: [online] [cit. 3.5.2012] dostupné z WWW: <http://www.difak.cz/index.php?pid=87>
- [12] E-NÁSTROJE: [online] [cit. 7.5.2012] dostupné z WWW: <http://www.e-nastroje.cz/>
- [13] HAHN+KOLB GROUP: [online] [cit. 7.5.2012] dostupné z WWW: http://www.hahnkolb.cz/cz/katalog_detail.php?limit_od=984&id_sortiment_skupiny=1269&VYROBCE=ATORN&hledany_nazev=&hledany_kod=&zobrazeni=&podskupina=&id_katalog=41340
- [14] Interní dokumentace firmy

SEZNAM PŘÍLOH

[A] Výkresová dokumentace litinového setrvačníku [14]